

Entwicklung und Untersuchung eines geeigneten Reaktorkonzepts zur Wärmetransformation mit dem Reaktionssystem $\text{CaCl}_2 / \text{H}_2\text{O}$

M. Bouché, M. Molenda, M. Linder, A. Wörner
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.(DLR)



Wissen für Morgen



Übersicht:

- Motivation und Zielsetzung
- Grundlagen thermo-chemischer Reaktionssysteme
- Materialanforderungen & Reaktionssystem CaCl_2
- Versuchsanlage und experimentelle Ergebnisse
 - Reaktorkonzept mit Festbett
 - Reaktorkonzept mit Festbett inkl. Gaskanal
- Zusammenfassung



Motivation und Zielsetzung:

- In der Industrie müssen kontinuierlich große Mengen niederenergetische Abwärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden.



- Temperaturbereich: $100^{\circ} - 200^{\circ} \text{ C}$
- Abwärmequellen: Ungenutzter Abdampf
- Temperaturniveau zu gering für sinnvolle Speicherung

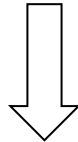
→ Aufwertung niederkalorischer industrieller Abwärme



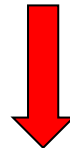
Motivation und Zielsetzung:

→ Aufwertung niederkalorischer industrieller Abwärme

konventionelle Wärmepumpe



max. 140° C



Thermo-chemische Systeme

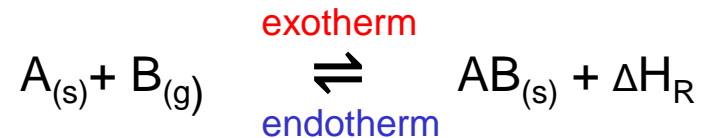


Aufwertung mittels Wärmetransformation von Temperaturen $> 140^{\circ}$ C möglich



Grundlagen thermo-chemische Reaktionssysteme

Reversible Gas-Feststoff Reaktion:



Vorteile:

- Hohe Energiedichten
- Wärmetransformation möglich
- Einsetzbar über große Temperaturbereiche (von RT bis 1000° C)



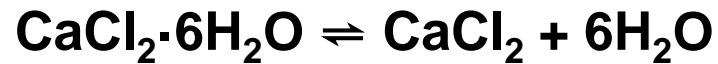
Materialanforderungen:

- Temperaturbereich: $100^{\circ} \text{ C} < T_{\text{reak}} < 200^{\circ} \text{ C}$
- Reversibel
- Zyklenstabil
- Hohe Reaktionsenthalpie
- Reaktionspartner Wasserdampf
- Feststoffschüttung
- Keine Nebenreaktionen, nicht toxisch
- preisgünstig



Reaktionssystem $\text{CaCl}_2 / \text{H}_2\text{O}$:

Wärmespeicherung

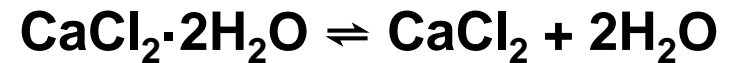


$\Delta H_R \approx 350 \text{ kJ/mol}$
Speicherdichte: 380 kWh/m^3
($\epsilon=0,5$; ohne Verdampf.)

Phasenwechsel \rightarrow Schmelze

**Tiefes Temperaturniveau bei
Entladung**

Wärmetransformation



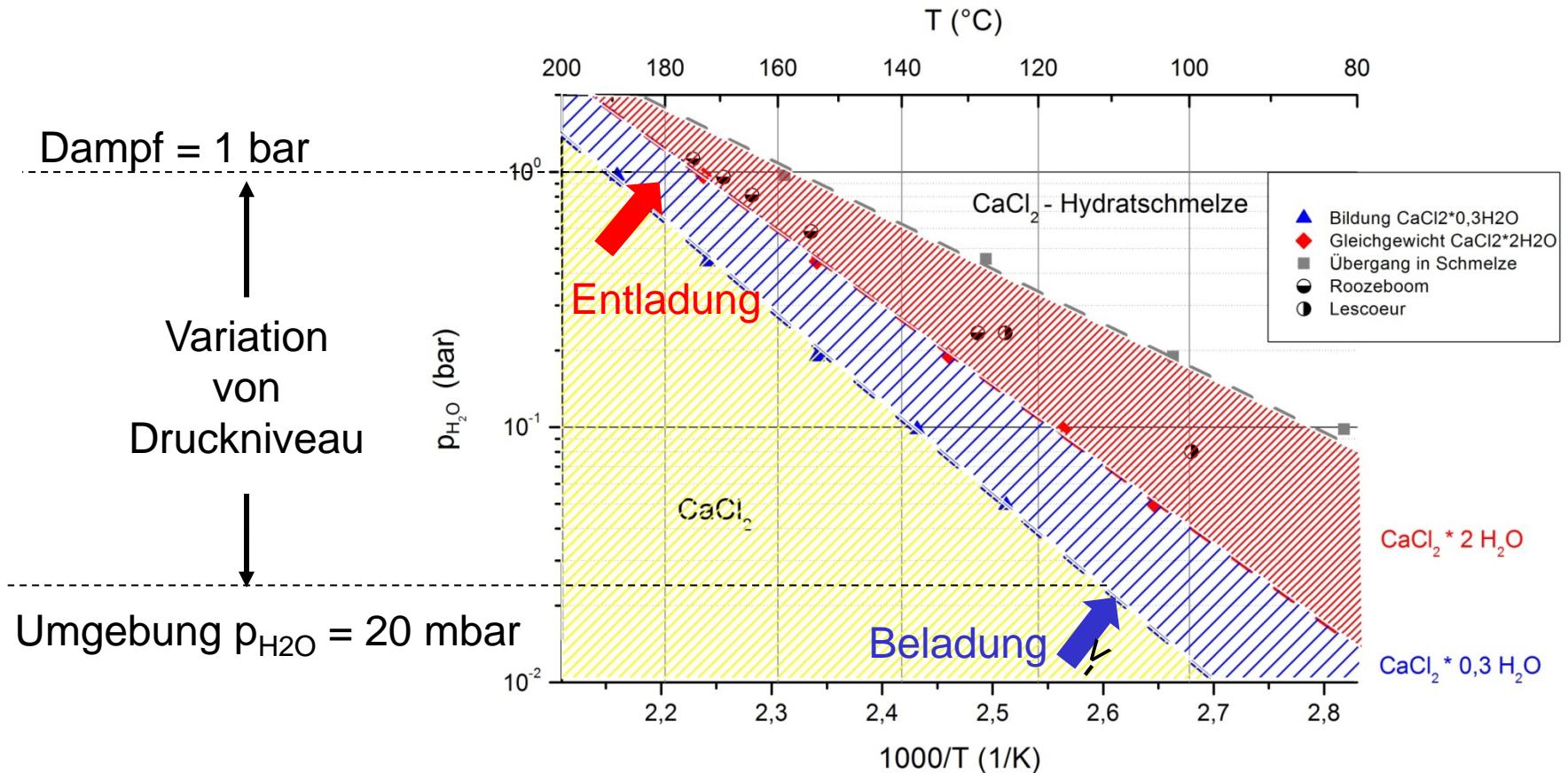
$\Delta H_R \approx 114 \text{ kJ/mol}$
Speicherdichte: 200 kWh/m^3
($\epsilon=0,5$; ohne Verdampf.)

Feststoff-Schüttung

**Hohes Temperaturniveau bei
Entladung**



Reaktionssystem $\text{CaCl}_2 / \text{H}_2\text{O}$:



Wärmetransformation: Entladetemperatur > Beladungstemperatur

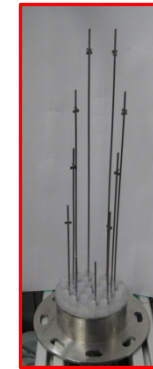
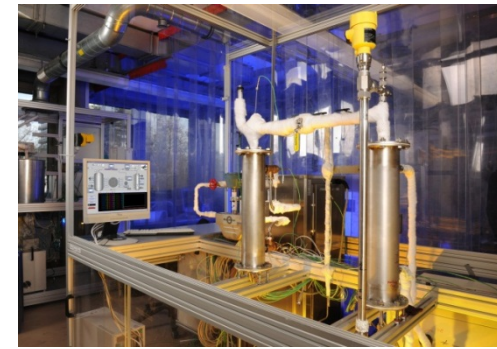
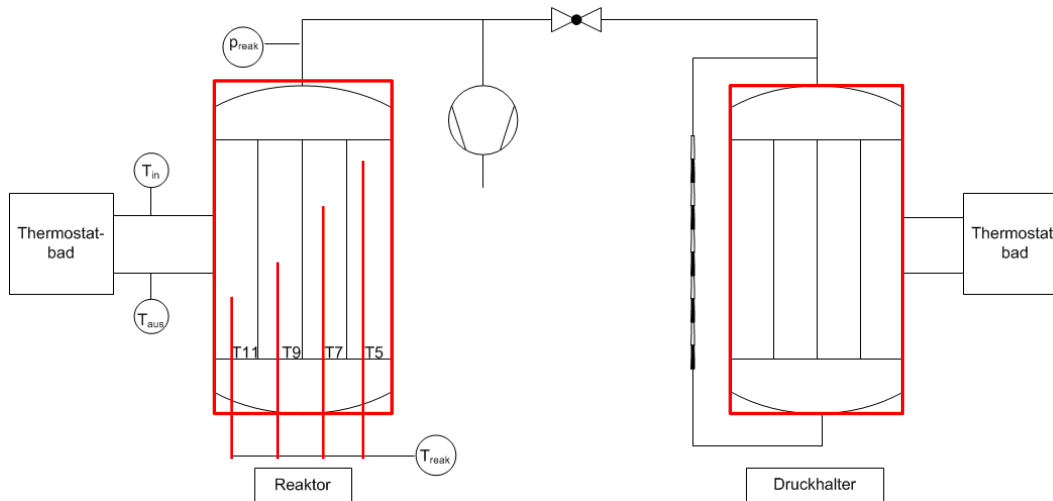


Versuchsanlage:

Therm. Beladen / Dehydratation



Therm. Entladen / Hydratation

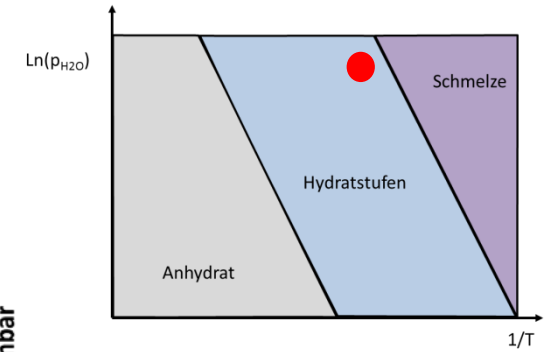
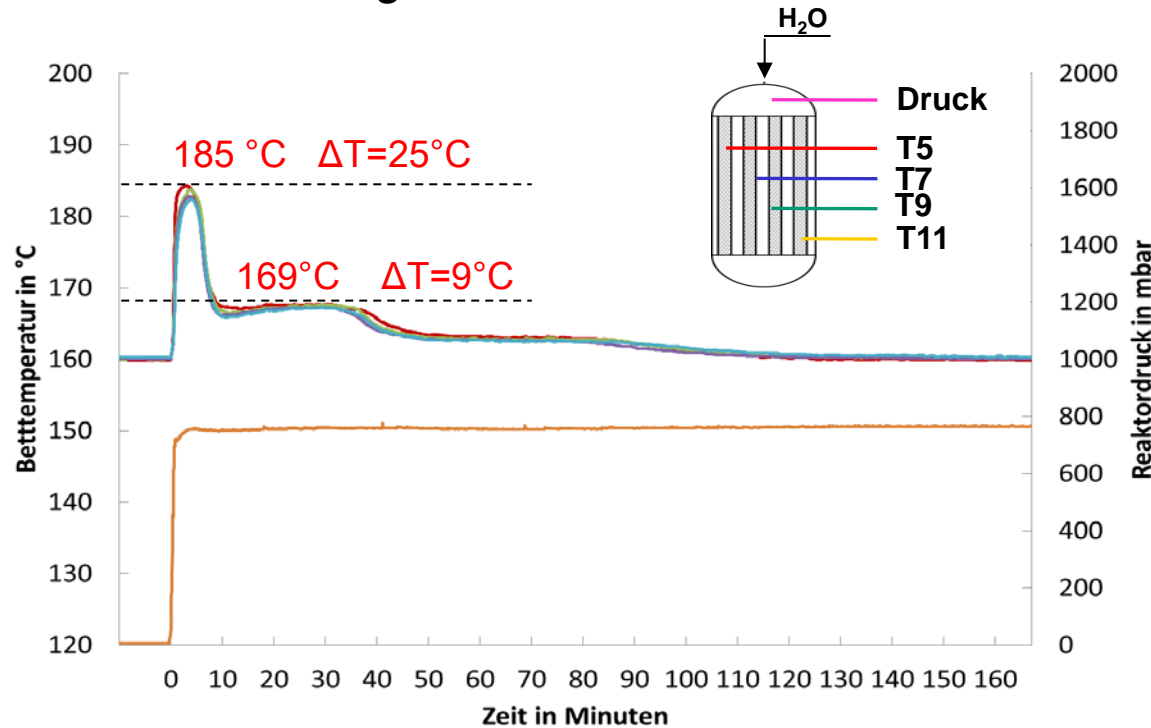


➔ Ziel der Untersuchung: Ist das Konzept der WT im Labormaßstab umzusetzen?



Experimentelle Ergebnisse: Festbett

Therm. Entladung bei 160°C



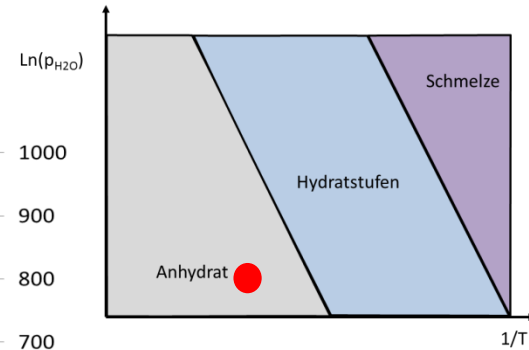
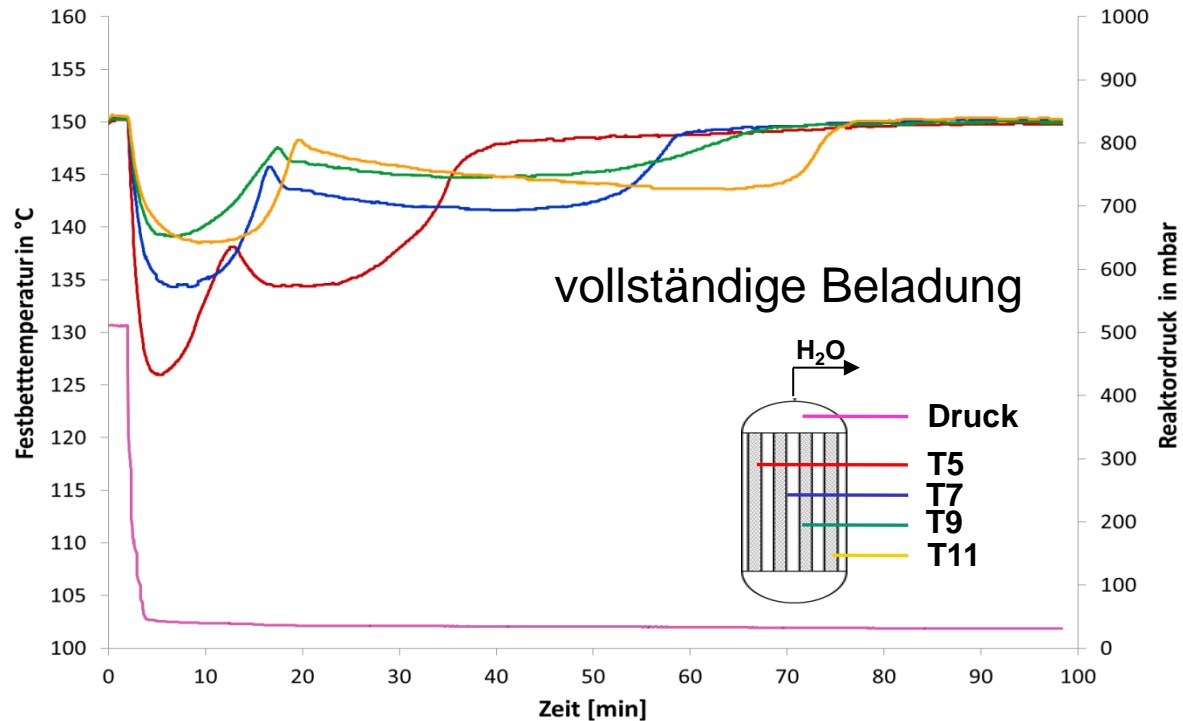
- Kein Druckverlust über Schüttung
- Wärmetransportlimitierung

Entladungszeit: 120 min



Experimentelle Ergebnisse: Festbett

Therm. Beladung bei 150°C



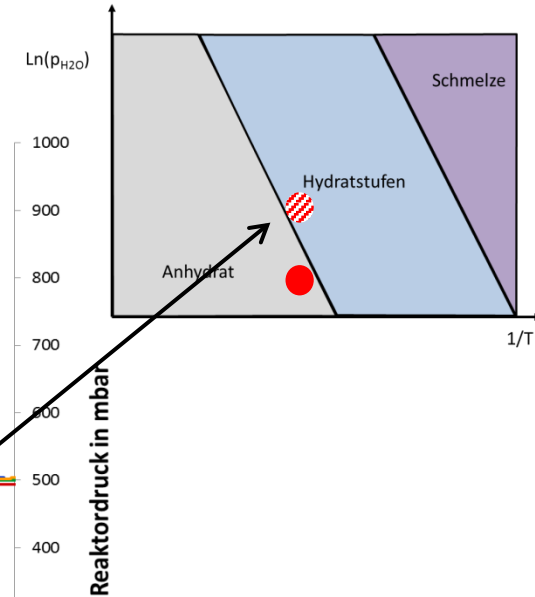
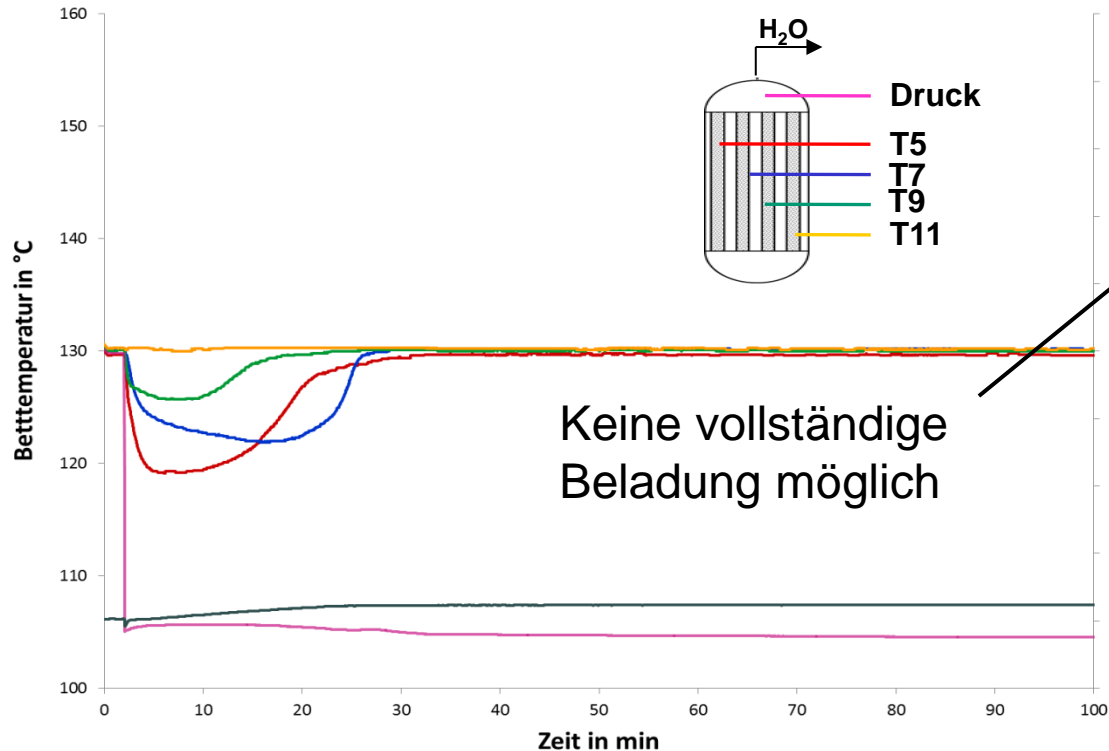
- Druckverlust über Schüttung
- Wärmetransportlimitierung

Beladungszeit: 80 min



Experimentelle Ergebnisse: Festbett

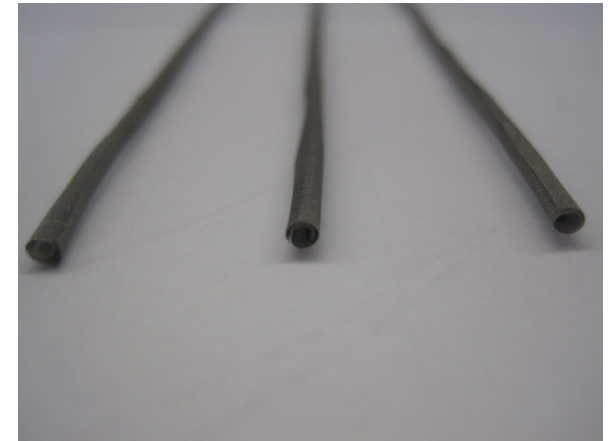
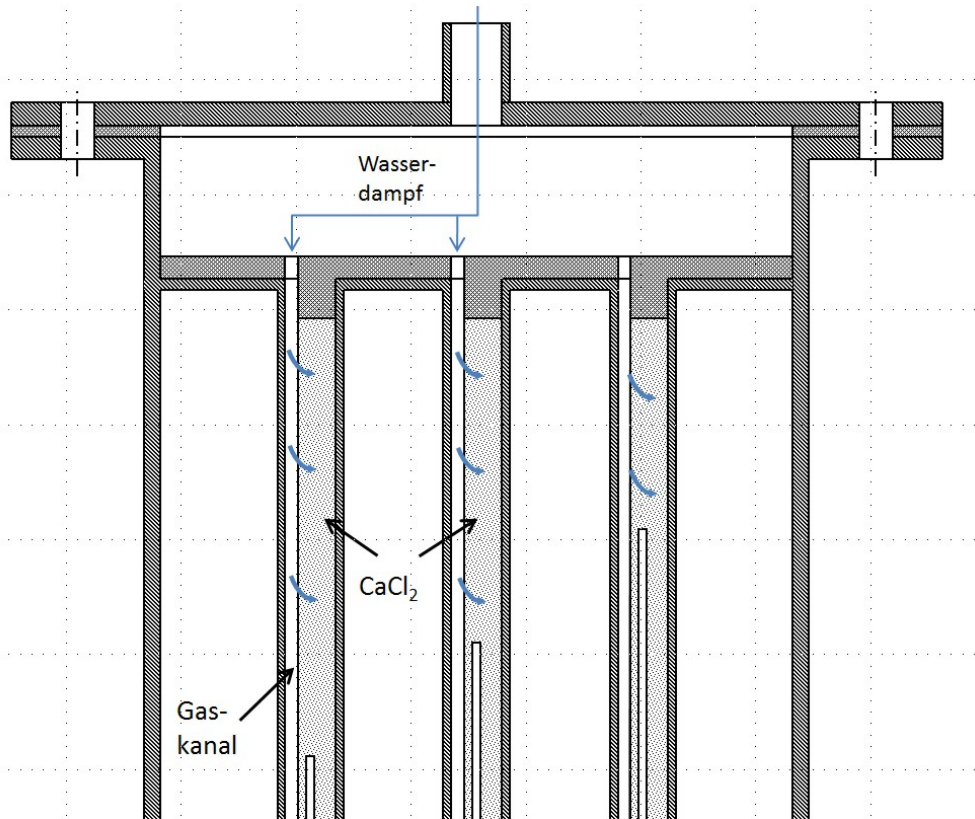
Therm. Beladung bei 130°C



- Druckverlust über Schüttung
- Wärmetransportlimitierung



Experimentelle Ergebnisse: Festbett inkl. Gaskanal

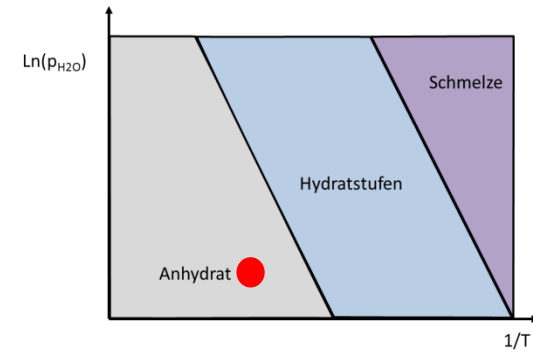
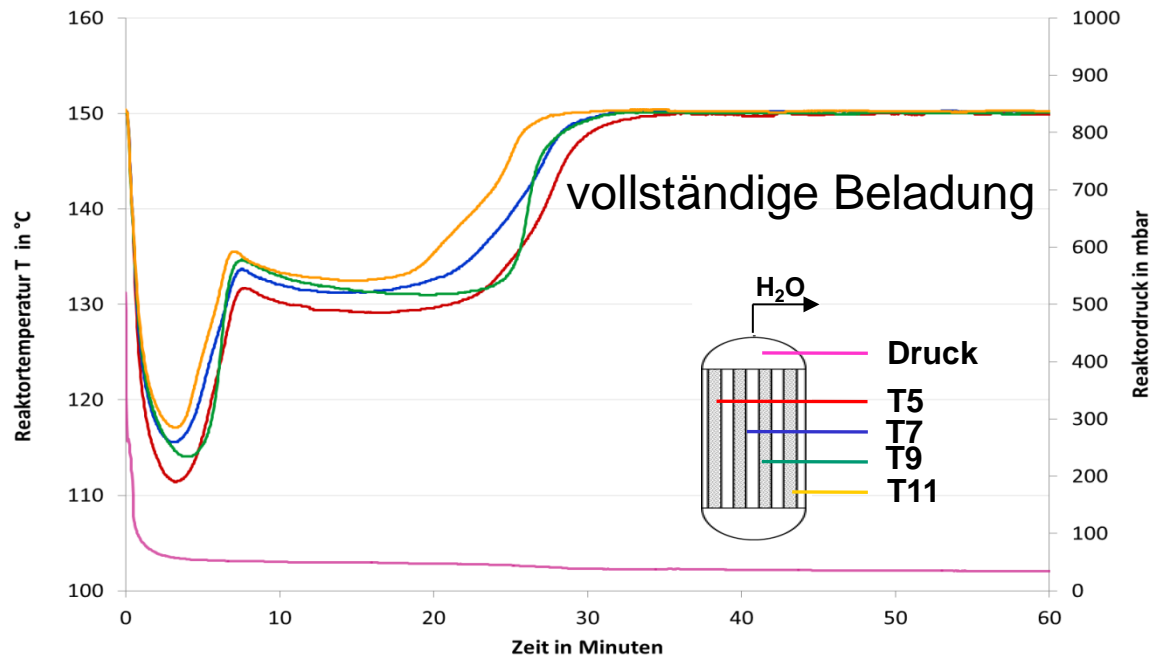


Ziel: Reduzierung von Druckverlust
über Schüttung



Experimentelle Ergebnisse: Festbett inkl. Gaskanal

Therm. Beladung bei 150°C



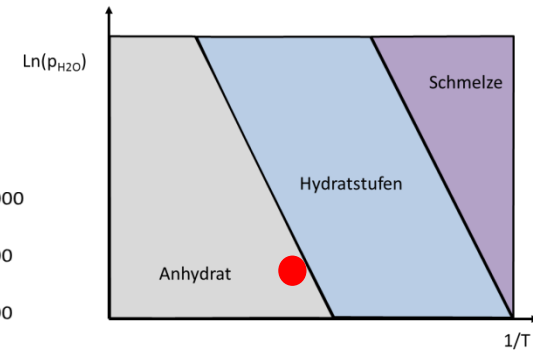
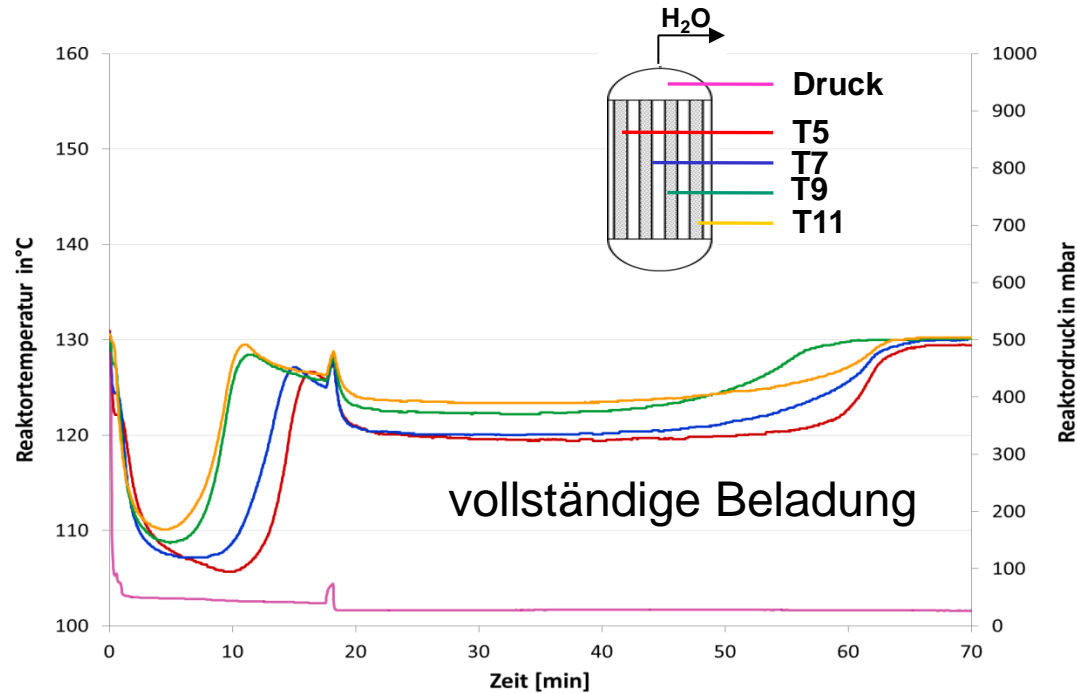
- Reduzierter Druckverlust über Schüttung
- Reaktionsdynamik x 2-3 schneller

Beladungszeit: 35 min



Experimentelle Ergebnisse: Festbett inkl. Gaskanal

Therm. Beladung bei 130°C



- Reduzierter Druckverlust über Schüttung
- Tiefe Beladungstemperaturen

Beladungszeit: 70 min



Experimentelle Ergebnisse: Übersicht

Betriebsweise	Reaktor-konzept	Reaktor-temp.	Reaktions-zeit	Stofftransport m_{H_2O}	Wärmetransport λ
Therm. Entladung	Festbett	160° C	120 min	++	--
Therm. Beladung	Festbett	150° C	115 min	--	--
Therm. Beladung	Festbett	130° C	nicht mögl.	--	--
Therm. Beladung	Festbett mit Gaskanal	150° C	35 min	+	--
Therm. Beladung	Festbett mit Gaskanal	130° C	70 min	+	--

Therm. Beladung bei geringen Temperaturen = **130° C** möglich
 Therm. Entladung bis zu **185° C** möglich

Stoff- & Wärmetransport
 optimierbar

Wärmetransformation



Zusammenfassung:

- $\text{CaCl}_2 / \text{H}_2\text{O}$ als thermo-chemisches System geeignet und prinzipielle technische Umsetzung in Labormaßstab nachgewiesen
 - Druckverlust bei tiefen Dampfdrücken (Dehydratation) bei Festbett
⇒ Erhöhung der Reaktionsdynamik durch Verbesserung von Ström mittels festem Gaskanal
 - Therm. Beladung bei geringen Temperaturen = **130°C** möglich
Therm. Entladung bis zu **185°C** möglich
- Wärmetransformation durchführbar
- Stoff- und Wärmetransport durch Reaktordesign weiter optimierbar



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Martin Bouché

Tel: 0711 / 6862-8040

martin.bouche@dlr.de



Wissen für Morgen

